

SINGLE WHEEL VEHICLE

Radek Hanuš

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xhanus12@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Háze

E-mail: haze@feec.vutbr.cz

Abstract: This article briefly describes a design and a construction of a self-balancing vehicle, similar to a skateboard, but only with one wheel located in the centre of the device. The wheel is driven by a motor and embedded electronics to keep the driver upright and move the vehicle accordingly to his tilt, so that the ride will resemble skateboarding, snowboarding or even surfing.

Keywords: Self-balancing vehicle, complementary filter, PID controller.

1 ÚVOD

Snadná dostupnost rychlých a výkonných polovodičových spínacích prvků a akumulátorů s vysokou energetickou hustotou vedla před několika lety k výraznému rozvoji elektromobility. Tento trend zasáhl i spotřební elektroniku, a díky tomu lze na trhu spatřit různá elektrovozidla na bázi skútrů, jízdních kol, koloběžek, skateboardů a podobně. Zajímavé odvětví představují i různá samobalancující vozidla, ať už se jedná o zařízení typu Segway, jejich menší variantu nesprávně označovanou jako tzv. hoverboardy, či jednokolové skateboardy (obr. 1). A právě poslednímu zmíněnému vozítku, jeho návrhu a výrobě, se tento článek ve stručnosti věnuje.



Obrázek 1: Jednokolový skateboard Onewheel+ (převzato z [1])

2 PRINCIP A ŘEŠENÍ

U běžně dostupných samobalancujících vozidel si výrobci střeží celý jejich koncept, a proto bylo nutné vymyslet vlastní způsob řízení. Ten se odvíjí od myšlenky obráceného kyvadla a momentu síly, resp. točivého momentu, kterým hmotné kyvadlo působí v bodě otáčení. Po matematickém odvození vychází, že moment síly M obráceného kyvadla je přímo úměrný sinu úhlu odklonu od svislice α . Pokud úhel odklonu nepřesahuje $\pm 30^\circ$, je možné funkci sinus nahradit aproximací $\sin(\alpha) \sim \alpha$, a moment síly M je tak přímo úměrný úhlu odklonu α .

Druhá část myšlenky řízení vychází z faktu, že točivý moment τ stejnosměrného elektromotoru je přímo úměrný proudu I jím tekoucím. Jednoduše řečeno je tedy možné úhel odklonu korigovat změnou proudu, jímž je elektromotor buzen, což ve výsledku vede k rovnici $I \sim \alpha$. Díky tomu je jezdec udržen ve svislé poloze.

V praxi je ovšem nutné vyřešit několik následujících problémů. Prvním z nich je znalost odklonu od svislice, resp. náklonu celé platformy. Jako jedno z možných řešení byl použit široce rozšířený

obvod MPU6050, který disponuje zejména tříosým akcelerometrem a gyroskopem. Výstupní data z obvodu, v podobě zrychlení a úhlové rychlosti, jsou zpracována tzv. komplementárním filtrem [2]. Jeho úkolem je pomocí filtru typu dolní propust potlačit vliv vibrací snímaných akcelerometrem a po zintegrování dat z gyroskopu potlačit filtrem typu horní propust jeho drift. Nakonec jsou vyfiltrované veličiny v určitém poměru sloučeny a výsledek odpovídá úhlu náklonu platformy.

Hmotnost jezdce a vozítka se při pohybu promítá do setrvačnosti soustavy, která taktéž musí být náležitě ošetřena. Pokud by točivý moment motoru závisel přímo na úhlu náklonu, nebylo by možné vozítko vzhledem k následně vzniklým oscilacím bezpečně ovládat. Z toho důvodu je součástí řídicího řetězce i PID regulátor, který vliv setrvačnosti eliminuje. Skládá se ze tří složek, proporcionální, integrační a derivační, jejichž vliv je nutné pro řádnou funkci správně nastavit. Pravděpodobně nejjednodušší způsob v tomto případě představuje experimentální Ziegler-Nicholsova metoda [3], která s drobnými znalostmi z praxe vede k uspokojivým výsledkům a stabilitě soustavy.

Poslední část proudového zdroje úzce souvisí s budicí částí motoru. Jedním z možných řešení je použití snímače proudu, například na principu Hallova efektu, pro snížení výkonových úbytků na minimum, a regulační smyčky, která bude na základě požadovaného točivého momentu udržovat proud tekoucí motorem konstantní. Toto řešení však u synchronního buzení jednofázového i vícefázového motoru není zrovna jednoduché a levné. Proto byl po počátečním neúspěchu zvolen jiný způsob na základě snímání otáček. Z nich je možné určit napětí, které motor sám generuje, a díky němuž snižuje efektivitu budicího napětí. Kompenzací generovaného napětí lze dosáhnout určitého napěťového rozdílu, který po podělení odporem vinutí odpovídá požadovanému proudu. Tento způsob sice není tak přesný, jako přímé snímání proudu, předčí jej však svojí jednoduchostí.

3 REALIZACE VOZÍTKA

První verze vozítka (obr. 2) využívá rámu vyrobeného z překližky, stejnosměrného komutátorového motoru s planetovou převodovkou, jehož hřídel je propojena s hnací hřídelí pomocí řemene a ozubených řemenic, které zamezují jeho prokluzu. Hnací hřídel je k rámu připevněna pomocí kučkových ložisek s plochou přírubou a její součástí jsou i dvě pohonná bantamová kola připevněná k unašeci. Pro zajištění bezpečnosti jezdce je rám doplněn čtveřicí plastových koleček a osvětlením.

O samotné řízení se stará mikrokontrolér ATmega8, taktovaný na kmitočtu 8 MHz, jehož výpočetní výkon pro výpočty s desetinnou čárkou za účelem zajištění rovnováhy jezdce 125krát za sekundu i při tomto taktu plně postačuje. Z periférií je následně využito zejména sběrnice I²C pro komunikaci s výše zmíněným obvodem MPU6050, sběrnice UART pro komunikaci s Bluetooth modulem, převodníku AD pro měření napětí akumulátorů a 16bitového čítače/časovače s možností generování pulzně šířkové modulace. Tou je ovládán budič výkonových tranzistorů HIP4082 a následně výkonové tranzistory MOSFET typu N zapojené do H-můstku. Snímání otáček u tohoto prototypu není realizováno, k jejich určení slouží odhad založený na délce jízdy a úrovně buzení motoru.

K vozítku je možné připojit mobilní telefon, případně jiné zařízení disponující terminálem, za účelem nastavování různých parametrů ovlivňujících styl jízdy a zjištění úrovně nabití akumulátorů.



Obrázek 2: První prototyp jednokolového vozítka

Druhá verze vozítka, která je v době psaní článku stále ve stádiu realizace, bude oproti svému předchůdci nabízet především hliníkový rám a třífázový stejnosměrný motor, umístěný v náboji kola, se jmenovitým výkonem 500 W a vyšší účinností. Bezpečnostní kolečka a osvětlení zůstanou zachována.

Elektronické vybavení se však bude nejen díky třífázovému motoru značně lišit. Řízení bude zajišťovat 32bitový mikrokontrolér architektury ARM-Cortex M0, konkrétně STM32F030K6, taktovaný na kmitočku 32 MHz. Mezi využití periferie patří opět sběrnice I²C pro připojení obvodu MPU6050, ale také OLED displeje pro zobrazování stavu akumulátoru, ujeté vzdálenosti, počtu nabíjecích cyklů a podobně. Ke sběrnici bude též připojena paměť M24C01, protože použitý mikrokontrolér paměti typu EEPROM nedisponuje a některé informace bude nutné uchovat i po vypnutí napájení. Dále bude využit převodník AD pro snímání napětí akumulátorů a široce konfigurovatelné čítače/časovače pro ovládání motoru a snímání otáček na základě informací poskytnutých Hallovy čidly umístěnými po obvodu statoru. Buzení výkonových tranzistorů bude zajišťovat trojice budičů IRS2101 a o napájení se postará, podobně jako u předchozího prototypu, šest lithium-polymerových článků, nyní však s kapacitou 12 Ah pro navýšení dojezdu.

S akumulátorem a pohodlností obsluhy se pojí i plánovaná vestavěná nabíječka. Ta se bude skládat ze dvou částí. První z nich je kombinace spínaného síťového zdroje a spínaného zdroje konstantního proudu/konstantního napětí, která bude obstarávat samotné nabíjení. Druhou část bude představovat aktivní balancer, jehož úkol spočívá v zajištění potřebných napětíových úrovní na jednotlivých člancích v průběhu nabíjení. Zároveň pokud bude vozítko například při jízdě z kopce vytvářet nadbytek energie, která nebude moci být uložena zpět do akumulátoru, zajistí přeměnu této energie na teplo.

4 ZÁVĚR

Obsahem článku je popis jednoho z možných způsobů řízení samobalancujících vozidel, jehož úkolem je udržet jezdce ve svislé poloze, a jejich následné realizace. První prototyp jednokolového vozítka již úspěšně funguje a použitý způsob řízení se v praxi poměrně osvědčil.

Druhý prototyp, který je v době psaní článku v pokročilém stádiu rozpracovanosti, bude nabízet některá vylepšení, která jeho předchůdci chybí. Jedná se například o výkonnější a účinnější motor nebo informační displej, zobrazující mimo jiné pokročilé informace o stavu akumulátoru nebo ujeté vzdálenosti. Po úspěšném sestavení a odladění hlavní řídicí elektroniky je v plánu rozšíření o vestavěnou nabíječku. Akumulátory tak nebude nutné kvůli nabíjení vytahovat z vozítka a jezdec s sebou bude moci vozit pro nabíjení pouze síťový zdroj, a nikoliv celou nabíjecí sadu.

Samobalancující vozidla jsou jistě zajímavými zařízeními, což dokazuje jejich obliba i u amatérských konstruktérů. Z tohoto důvodu je možné, že narůstající požadavky a očekávání dají do budoucna vzniknout dalším, dokonalejším verzím, a to nejen v komerční sféře. Příkladem takového zdokonalení může být náhrada komplementárního filtru za složitější, ale přesnější Kalmanův filtr.

REFERENCE

- [1] Onewheel+. *Future Motion Inc.* [online]. 2017, [cit. 2017-11-12]. Dostupné z: <https://onewheel.com/products/onewheel-plus>
- [2] COLTON, Shane. *The Balance Filter* [elektronický dokument]. 25. června 2017 [cit. 2017-11-24]. Dostupné z: <https://scolton-www.s3.amazonaws.com/docs/filter.pdf>
- [3] VAVŘÍN, Petr. *Teorie automatického řízení 1.* 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1991. 158 s. ISBN 80-214-0244-X